动 物 学 研 究 2007, Aug. 28 (4): 344 - 352 CN 53 - 1040/Q ISSN 0254 - 5853
Zoological Research

# 越冬地东方白鹳的繁殖干扰*

侯银续，周立志*，杨 陈，王岐山
（安徽大学 生命科学学院生物多样性与湿地生态研究所，安徽省生态工程与生物技术重点实验室，安徽 合肥 230039）

**摘要**：2004年和2005年两个繁殖季节，在安庆市望江县漳湖镇，采用全事件采样法和瞬间扫描采样法，对东方白鹳留居种群繁殖特征和繁殖生境内的干扰因素进行了初步研究。东方白鹳在高压电线塔上营巢繁殖，营巢地点距离最近的村庄仅500 m远，取食地点主要是水稻田，影响繁殖活动的主要自然因素：强风和高温。巢区和取食生境内的人为干扰强度较大，主要有燃烧秸秆、在巢塔上安装鸟刺、农耕活动和飞机噪音等。农业活动等人为干扰，对东方白鹳的取食、取材等行为造成很大影响，导致产生警戒、逃逸等行为。东方白鹳留居繁殖种群繁殖干扰因素的识别对进一步开展保护工作具有积极意义。

**关键词**：东方白鹳；繁殖种群；干扰；越冬区；行为
**中图分类号**：Q959.722；Q958.123 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2007)04-0344-09

# Disturbance to the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana*) Breeding in the Wintering Area

HOU Yin-xu, ZHOU Li-zhi*, YANG Chen, WANG Qi-shan
(*Institute of Biodiversity and Wetland Ecology, School of Life Science, Anhui University; Anhui Key Laboratory of Ecological Engineering and Biotechnique, Hefei* 230039, *China*)

**Abstract**: We studied the breeding biology and disturbance factors of oriental white storks (*Ciconia boyciana*) using instantaneous sampling and all occurrence sampling in Dawan Village, Anhui Province, China, in their breeding seasons of 2004 and 2005. Their nests were built on high electricity pylons, which were only 500 meters away from the nearest village. The foraging sites were mainly paddy fields and ponds. Strong wind and high temperature were the main natural disturbance factors that affected the bird's breeding. The main human disturbances included straw burning, metal thorns set on the electricity pylons to keep the birds away, agricultural activities and flight noise. Agricultural activities greatly affected feeding, nest material seeking, incubation and the behavicur of the birds. The foraging birds showed alertness and flew away when disturbed. However, they also developed a tolerance to human disturbance. The greater the agricultural activities in the area, the shorter the response distance to humans. There was a positive correlation between the activity of nest-material seeking during the breeding season and the mean daily agricultural activity intensity in the breeding area. Better understanding of the breeding disturbance of oriental white storks in the Yangtze river will help us to take good steps for the further conservation of the bird.

**Key words**: *Ciconia boyciana*; Breeding population; Wintering area; Disturbance; Behaviour

东方白鹳（*Ciconia boyciana*）属大型涉禽，现存野生数量极为稀少，约3 000只（Collar et al, 2001; Delany & Scott, 2002），IUCN红色物种名录将其列为濒危种（2004），CITES列为附录Ⅰ物种（2003）。繁殖地主要在黑龙江流域（Collar et al, 2001; Wang & Yang, 1995），越冬地主要在我国长江中下游地区（BirdLife International, 2001）。近几年，越冬区出现了东方白鹳的野外繁殖种群（Zhu, 2001; Wang et al, 2002），为该濒危物种的保护带来新机遇。

随着人类活动范围的不断扩大，人为干扰已成为许多动物栖息地中的一种主要干扰类型（Riffell

* 收稿日期：2006-12-26；接受日期：2007-03-23
基金项目：国家自然科学基金资助项目（30470257）；安徽省教育厅重点科研项目（2006KJ050A）；安徽大学人才培养项目
* 通讯作者（corresponding author），E-mail: zhoulz@ahu.edu.cn

et al，1996），对鸟类的影响已日益引起生态学家们的广泛关注（Cooke，1980；Gutzwiller et al，1998；Keller，1989；Mori et al，2001）。水鸟对人类的干扰比较敏感（Chen et al，2000），如在受干扰的湖区营巢的凤头䴙䴘（*Podiceps cristatus*）比在无干扰湖区的个体繁殖成功率要低（Keller，1989），强度干扰会影响白鹤（*Grus ieucogeranus*）在停歇地的能量补充（Wang et al，2005）。长江中下游地区人口稠密，人类活动干扰强度较大，已给下游湿地和水鸟的栖息造成严重影响（Barter et al，2004；Cai & Zhou，1996）。

东方白鹳在越冬地进行繁殖的原因目前尚不清楚，但长江中下游地区和北方繁殖区的生境质量、人类干扰有很大的差异，东方白鹳能否在一个人类活动较为频繁的区域成功地进行繁殖活动，令人关注。它们繁殖活动将受多大程度的环境影响，对各种干扰因素采取何种适应策略？因此，越冬地东方白鹳的繁殖适应性的研究对于行为生态学和保护生物学都具有十分重要的意义。鉴于此，我们在 2004—2005 年对安徽安庆沿江地区东方白鹳繁殖干扰因素进行了观察和研究，以期为长江中下游东方白鹳繁殖种群的扩大和保护工作的开展提供科学依据。

## 1　研究地点概况

研究地点在长江北岸的安庆市望江县漳湖镇大湾村和新闸村农耕区（116°49.47′—52.28′E，30°19.53′—21.95′N）属安庆沿江平原，海拔 0—12 m，附近河流湖泊众多，是白鹤、东方白鹳、白头鹤（*Grus monacha*）、鸿雁（*Anser cygnoides*）、黑鹳（*Ciconia nigra*）等全球受胁鸟类的重要越冬地（Barter et al，2004）。夏候鸟主要有白鹭（*Egretta garzetta*）、苍鹭（*Ardea cinerea*）、牛背鹭（*Bubulus ibis*）、池鹭（*Ardeola bacchus*）、黑水鸡（*Gallinula chloropus*）、灰头麦鸡（*Vanellus cinereus*）等。该地属北亚热带季风气候区，四季分明，年平均气温 16.5℃，1 月份平均气温约 3℃，7 月份平均气温约 30℃，无霜期 252 d，年均降水量 1 300 mm，年日照 1 962.7 h。植被比较单调，乔木较少，仅道路和水沟两旁种植少量加拿大杨（*Populusx canadensis*）、河柳（*Salix chaenomeloides*）、垂杨柳（*Salix babylonica*）和刺槐（*Robinia pseucdoacacia*）等人工经济林；田埂和沟渠旁生长的草本植物主要是野塘蒿（*Erigeron bonariensis*）、绵毛叶蓼（*Polygonum lapathifolium*）、东方蓼（*Polygonum orientale*）、苍耳（*Xanthium sibiricum*）等；农作物主要是水稻（5—10 月）、棉花（4—10 月）和油菜（11—5 月），此外，还种植相当面积的莲（*Nelumbo nucifera*），农田冬春两季种植油菜，油菜与早稻轮作；夏秋两季是水稻，也有部分棉花等作物。一些水田常年积水，年平均深度约 5.2 cm。休耕水田和洪湖渔场是繁殖期东方白鹳的主要觅食地。该地人口密度较大约 260 人/km$^2$。附近 5 个村鸭群放养总量在 3.5 万只以上。

## 2　方　法

参考 Liu et al（2001）对东方白鹳行为的定义，并结合预观察的情况，将东方白鹳的繁殖行为划分为警戒、觅食、地面行走、飞翔、交配、坐巢、翻卵、育雏、取材、修巢、击喙、理羽和休息等类型。借助 8×40 倍望远镜，采用瞬间扫描法（Altmann，1974），每周于 6：00—19：00 对东方白鹳进行 3—4 d 的全天行为观察，每 5 min 扫描一次，连续采样。

每周的其他时间主要观察干扰因子对繁殖行为的影响和人为干扰对取食、取材的影响。采用全事件采样法（Altmann，1974），观察东方白鹳对干扰的行为反应。参考 Wang et al（2004）对白鹤的研究方法，将东方白鹳的警戒距离定义为人为干扰导致东方白鹳停止取食（地面）或理羽、休息等（巢塔）而处于警戒状态时的距离；逃逸距离定义为受干扰东方白鹳惊飞时的距离。具体方法是当人（农民、行人等）进入东方白鹳的活动区域时，用望远镜观察并锁定人接近到东方白鹳出现警戒或逃逸行为所在处的明显标记物。利用 GPS 对标记物定位，再利用坐标点创建航线，计算反应距离。多次观察显示，当雌雄亲鸟在巢或一起觅食活动受到干扰时，两亲鸟几乎同时产生反应，由于东方白鹳为雌雄同色鸟类，单独 1 只活动时，在野外很难辨识，鉴于此，在反应距离数据的处理过程中，将同巢的两亲鸟等同看待。

根据当地农民的作息习惯，繁殖区农业干扰强度的描述采用抽样统计法进行。具体方法是选取每月的 5、10、15、20 和 25 日的上午 9：00—10：00 和下午 15：00—16：00 两段时间，每 20 min 扫描一次（每月抽样观察 10 h），若因天气或其他原因而造成某次数据缺失，则利用随后的全天观察数据补充。记录巢区 1 km 范围内（约 3 km$^2$）活动人员数量。将每月观察到总人数除以 3（面积）和 10（时间），即为当月农业活动强度〔人/（km$^2$·h）〕。

通过观察周围树木的征象，并借助“风力等级表”，判定营巢生境内风向和风力，利用温度计测量巢区气温。

定点观察地点选择在距离 1 458 巢塔 300 m 处水沟旁大杨树下的伪装草棚内和距离 1 465 巢巢塔 500 m 处的鸭棚里。

将所得数据输入 Microsoft Excel 表格，进行整理和分析，用 SPSS 11.0 统计软件对数据进行相关分析和单因素方差分析，若方差分析的结果有显著差异，则进行 Post Hoc 多重比较检验。

## 3 结 果

### 3.1 东方白鹳的繁殖过程

安庆地区留居的东方白鹳最早于元月下旬进入巢区，开始繁殖活动。2005 年漳湖镇有 2 对东方白鹳留居繁殖，于葛洲坝至上海的高压电线塔上营巢，巢位于 1 458（EF 繁殖对）和 1 465 号（GH 繁殖对）电线塔顶端两臂的交叉连接处，即线塔横梁中央，两塔相距 3.0 km。1 458 和 1 465 巢塔与长江的最近距离分别为 7.6 km 和 4.9 km，距离武昌湖 3.7 km。巢塔周围有赛口镇、大弯村、新闸村、日新村和连建村等村庄，其中与 1 458 巢塔最近的干扰源的距离分别为赛口镇约 1.5 km，新闸村 1.3 km，日新村 0.5 km；与 1 465 巢塔最近的干扰源的距离分别为连建村约 2.5 km，大弯村 2.0 km，日新村 2.0 km。两巢均在公路旁，与公路的距离分别约 500 m 和 250 m。在 1 465 塔营巢的 EF 繁殖对，2 月中旬开始营巢交配，3 月 19 日坐巢产卵，4 月 25 日孵出雏鹳，7 月 22 日繁殖结束。GH 繁殖对先后在 1 463 塔和 1 458 塔营巢。GH 繁殖对 2 月上旬即开始在 1 463 塔营巢，2 月 20 日前后坐巢产卵，3 月 4 日供电部门为 1 463 塔窝巢加固，导致 GH 繁殖对弃巢；3 月中旬转移至 1 458 塔再次营巢，3 月 22 日前后坐巢产卵，4 月 27 日孵出雏鹳，6 月 24 日繁殖基本结束。

2004 年有 2 对东方白鹳留居繁殖，1 对在 1 465 塔（AB 繁殖对）；另一对先后在 1 464 塔、1 462 塔、1 463 塔和 1 461 塔营巢繁殖（CD 繁殖对）。AB 繁殖对 2 月上旬开始营巢，2 月底产卵，3 月 18 日其巢被高压电击毁，坠落塔下，3 月 23 日 AB 离开安庆武昌湖巢区；CD 繁殖对 2 月初开始在 1 464 塔营巢，2 月 11 日开始坐巢产卵，3 月 24 日 1 464 输线塔发生供电事故，CD 繁殖对在 1 464 塔的巢被拆除。当天下午 CD 繁殖对转移至 1 462 塔营巢，3 月 27 日凌晨 1 462 塔绝缘子短路，CD 繁殖对在 1 462 塔的巢也被拆除。3 月 28 日 CD 繁殖对又转移到 1 463 塔营巢，4 月 21 日发生供电事故，1 463 塔巢也被击毁。5 月 2 日 CD 繁殖对转移至 1 461 塔营巢，6 月 21 日坐巢产卵，7 月 16 日孵出雏鹳，直至 9 月 20 日繁殖结束（表 1）。

表 1 干扰对东方白鹳繁殖进程的影响

**Tab. 1 The effect of disturbance on the breeding courses of *Ciconia boyciana***

| 巢 Nest | 2004 | | | | | 2005 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | No.1465 | No.1464 | No.1462 | No.1463 | No.1461 | No.1465 | No.1463 | No.1458 |
| 巢位 Nest location | 下拐角 Lower corner of the pylon | 塔顶 Top of the pylon | 塔顶 Top of the pylon | 下拐角 Lower corner of the pylon | 塔顶 Top of the pylon | 塔顶 Top of the pylon | 塔顶 Top of the pylon | 塔顶 Top of the pylon |
| 营巢时间 Nesting time | 2 月上旬 Early Feb | 2 月上旬 Early Feb | 3 月 24 日 Mar 24th | 3 月 28 日 Mar 28th | 4 月下旬 Late Apr | 2 月中旬 Middle Feb | 2 月中旬 Middle Feb | 3 月中旬 Middle Mar |
| 孵卵时间 Sitting time | 2 月下旬 Late Feb | 2 月 11 日 Feb 11th | — | 4 月 6 日 Apr 6th | 6 月 21 日 Jun 21st | 3 月 19 日 Mar 19th | 2 月 20 日 Feb 20th | 3 月 22 日 Mar 22nd |
| 育雏时间 Fostering nestling time | — | 3 月 11 日 Mar 11th | — | — | 7 月 16 日 Jul 16th | 4 月 25 日 Apr 25th | — | 4 月 27 日 Apr 27th |
| 繁殖结束时间 Finishing time of breeding | 3 月 18 日 Mar 18th | 3 月 24 日 Mar 24th | 3 月 27 日 Mar 27th | 4 月 21 日 Apr 21st | 9 月 20 日 Sep 20th | 7 月 22 日 Jul 22nd | 3 月 4 日 Mar 4th | 6 月 24 日 Jun 24th |
| 繁殖成功与否 Success or failure of breeding | AB 否（F） | CD 否（F） | CD 否（F） | CD 否（F） | CD 是（Y） | EF 是（Y） | GH 否（F） | GH 是（Y） |
| 失败原因 The cause of failure | tr | rh | rh | Tr，rh | — | — | rfh | — |

2004 年东方白鹳在 No.1465 与 No.1463 线塔下臂绝缘子上方的拐角处造巢，将此处称“下拐角”，相对于上侧两臂末端的“角台”而言；—：无此项；rh 指人为拆除；tr：电击导致失败；rfh 人工固巢。

Oriental white storks built nests in the upper corner of insulator, which were at the lower edge of the electricity pylons. This site was called “lower corner of the pylon”. —，rh，tr and rfh stand for no item，removed by humans，tip-and-run and reinforced by human respectively.

### 3.2　影响东方白鹳繁殖的自然因素

3.2.1　气温的影响　2005 年 2 月份，巢区气温多在 0℃以下，在巢塔上停歇休息的亲鸟常收紧双翅，缩拢身体，蜷曲脖颈，将长喙埋于颈部和上胸部羽中。高温对东方白鹳的亲鸟和雏鸟的影响都很明显。5 月份以后，在太阳直射下气温高达 55℃以上。在强日光下，亲鸟背对日光，微开双翅，喙张开，偶有振翅行为；30 日龄前，巢中幼鹳彼此疏散开，喙张开，伸长颈项；30 日龄后，羽毛基本丰满，行为接近亲鸟。多次观察到高温时亲鸟给幼鹳喂水，半撑开双翅为幼鹳遮挡日光的现象。亲鸟对雏鸟采取这一系列行为对策为适应辐射胁迫。

3.2.2　风的影响　5 级以上强风对营巢初期的繁殖活动影响较大。当地四季多风，风力通常达 4—5 级。因巢筑于 35 m 高压输线塔上，线塔立于水田中，周围无防风林，强风对修建中和初建尚未加固的新巢造成的影响较大，巢的迎风一侧常被吹得变形，外侧内陷，内陷处巢材凌乱。2005 年 2 月 28 日东北风 4—5 级（1 463 巢建成后第 10 天），我们在 1 463 塔下，捡到巢材 16 根（不完全）；3 月 24 日东北风 4—5 级（1 458 巢建成后第 10 天），在 1 458 塔下，捡到巢材 41 根。随着营巢活动的进行，巢渐渐变得坚固，能够抵御强风。5 月 17 日，刮了 12 h 左右的 9 级强风。次日（1 458 巢建成后第 60 天）在 1 458 塔下，捡到巢材 8 根，巢外型基本完好，仅迎风一侧部分巢材被吹动。

强风对巢的破坏会引起取材次数的增多和修巢频次的增加。5 月 18 日，取材 9 次，明显高于前后几天的记录，（前后 9 次全天观察，平均取材次数 3.78 ± 2.33，前后几天风力都在 5 级以下）。另外，5 级以上的强风也增加了取材活动的难度，东方白鹳叼运的巢材常在飞向巢塔的途中被风吹掉。

无风或微风天气，东方白鹳修巢行为显得比较轻松，常收拢双翅，一边啄理巢材一边双脚压住突出的部分，并沿着巢沿缓缓前移，间或伴有休息、理羽等行为；强风时（ > 5 级），则迎着风向，一翅倚抵着铁板，当修巢的外周面时，身体轴线与巢台面常保持一定角度（30—90°），双翅微开，保持平衡。但也常观察到身体被风吹得失去重心，前后摇摆的现象。

亲鸟立于角台或巢侧休息时，通常迎着风向站立，5 级以上的强风，还未看到过背迎风向的现象。无风或微风时，行为则较自由随意，或理羽，或展伸一翅，或单脚曲立休息等。

无风或微风天气东方白鹳从地面飞到塔上，通常采取直线飞翔或先直线而后盘旋飞落巢上；大风天气（ > 6 级）东方白鹳飞翔的策略是“S”型，即先逆风爬升一定高度，再顺风向前滑翔，再逆风爬升一定高度，再顺风滑翔，逐渐靠近巢塔，最后逆风飞落巢上。

### 3.3　影响东方白鹳繁殖的人为因素

3.3.1　鸟刺的影响　考虑供电安全，2005 年 4 月初供电部门在线塔上侧两臂末端的角台上安装了鸟刺，即用尖锐的钢条做成的蜂窝状球体。鸟刺安装后，东方白鹳不能在角台上停歇。在观察中尚未见东方白鹳停落在装有鸟刺的部位。装鸟刺前，1 458 塔上一只鹳立于巢上时，另一只往往在角台休息；装鸟刺后（鸟刺装在角台中央，整个角台被鸟刺覆盖），未见东方白鹳在角台停落。1 465 塔鸟刺装在角台内侧，角台大部分空间在鸟刺之外，两亲鸟仍在角台休息。在 1 465 塔装鸟刺前，亲鸟回巢，通常先落角台上，然后扇翅膀（约 1.5 s/次）快速走到巢上，不经过角台直接停落巢上的比例是 27.50%（$n = 56$）；装鸟刺后，较之前，直接落巢上的比例是 42.50%（$n = 104$），明显增大。

3.3.2　飞机航班等噪音的影响　1 458 塔，处于飞机航线正下方，过往航班频繁，每小时约 2 架次。亲鸟初到 1 458 塔的几周，航班经过时，亲鸟表现出警戒行为。4 月 5 日以后的观察显示，航班经过时，亲鸟已无明显反应。清晨时，东方白鹳对鞭炮声和汽笛声等噪音比较敏感，当噪音最初几次响起时，表现警戒行为。而当同类噪音连续产生几次，则逐渐对之适应，不再警戒。

3.3.3　秸秆焚烧的影响　武昌湖区油菜的种植面积约占该地区耕地面积的 2/5 以上，5 月份，农民焚烧油菜秸秆所产生的 3—5 m 高的大火和 200—300 m 高的浓烟对 1 458 巢区的空气质量和东方白鹳的繁殖行为等都产生了较大影响。巢区秸秆焚烧活动的最初几天，秸秆燃烧产生的大火、噪音和浓烟（高达 350 m 左右）导致 1 458 巢上的亲鸟立即产生高度警戒行为；一周后的观察显示，即使火堆仅距离巢塔 30 m 左右，亲鸟也没产生警戒行为。

在繁殖区没有秸秆焚烧活动的时期，东方白鹳在觅食地和巢塔之间进行迁移飞翔的方式是低空直线飞行，高度 20—50 m；5 月下旬，在秸秆焚烧活动强度较高时，东方白鹳在觅食地和巢塔之间进行迁移

飞翔的行为发生了较大变化，即先从地面盘旋飞起，飞翔半径 20—150 m，逐渐爬升飞行高度，达 400—500 m 高度后，展翅向目标地俯冲滑翔（图 1）。分析表明，东方白鹳的飞翔高度与巢区秸秆燃烧强度具有极显著相关关系（$r = 0.777$，$n = 19$，$p < 0.01$）。

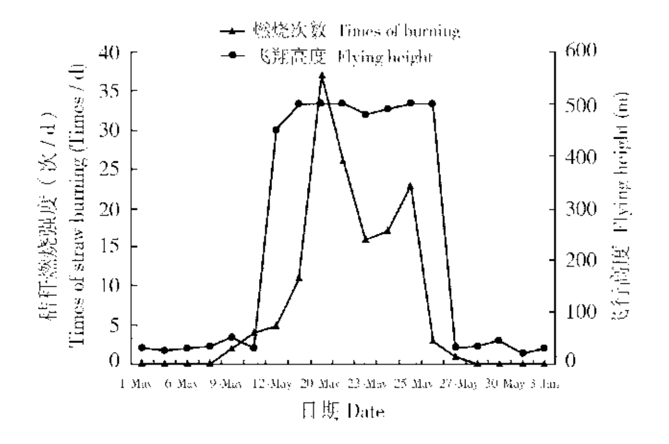



图 1 秸秆燃烧强度与飞翔高度的关系
Fig. 1 The effect of straw burning on flying height in the home range of oriental white storks

3.3.4 农事活动的影响 3 月份，农闲时期繁殖区人为干扰小〔4.5 人/（km²·h）〕；5 月以后，随着收割油菜、种植棉花、整田插秧等农事的相继开始，繁殖地的农业活动不断增强〔21.3 人/（km²·h）〕；而 4 月份是个过渡期〔10.1 人/（km²·h）〕。人为干扰对东方白鹳取材、取食有影响，在整个繁殖期的观察记录中，187 次取材活动有 21 次受到干扰，取材活动的干扰率约为 11.23%；209 次取食活动受干扰中断的有 149 次，终止取食活动被迫逃逸 104 次，取食的人为干扰频率和逃逸频率分别约是 71.29% 和 49.76%。

东方白鹳在地面活动时，对向其靠近的行人表现出明显的警戒和逃逸行为，但在繁殖期的不同阶段，东方白鹳留居繁殖种群对人为干扰的反应距离（警戒/逃逸距离）有显著差异（表 2）。Post Hoc 多重比较检验表明，2 月份的反应距离与 3、4、5、6、7 月份的有显著差异，3 月份的反应距离与 4、5、6、7 月份的差异显著，4 月份的反应距离与 6、7 月份的有显著差异，5 月份的反应距离与 6、7 月份的也有显著差异。但在地面活动的东方白鹳对人为干扰的反应距离总体表现为愈接近繁殖后期东方白鹳对人为干扰的反应距离愈短，并与繁殖区农业活动的干扰强度呈负相关（$\gamma_{alertness} = -0.916$，$\gamma_{flight} = -0.916$，$n = 6$，$p < 0.05$）（图 2）。

东方白鹳的取材活动主要集中在清晨（66.35% 的取材活动在 8：00 以前完成），且在 7：00、13：00

**表 2 东方白鹳在地面活动时对人为干扰的反应距离**
**Tab. 2 Response distances of *Ciconia boyciana* responding to human disturbance on the ground**

| 反应行为 Responding behaviour | 不同繁殖时期的反应距离（m） Response distances at different breeding stages | | | | | | F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 Feb（$n = 6$） | 3 Mar（$n = 10$） | 4 Apr（$n = 10$） | 5 May（$n = 9$） | 6 Jun（$n = 16$） | 7 Jul（$n = 10$） | |
| 警戒 Alertness | 403.3 ± 66.2 | 269 ± 71.1 | 176 ± 48.8 | 138.9 ± 57.8 | 35 ± 21.9 | 36 ± 12 | 77.675** |
| 逃逸 Flight | 360 ± 55.5 | 228 ± 62.3 | 139 ± 49.3 | 103.3 ± 30 | 23.1 ± 16.4 | 17.5 ± 9.2 | 94.464** |

** $P < 0.01$（ANOVA）.

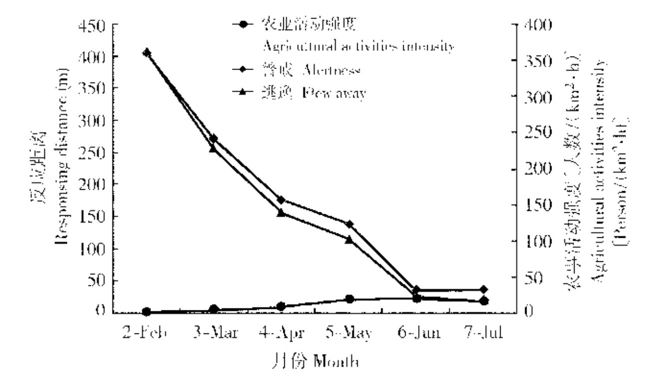



图 2 警戒、逃逸距离与繁殖区月农业活动强度的关系
Fig. 2 The effect of agricultural activities on alertness and flight distances in the breeding season

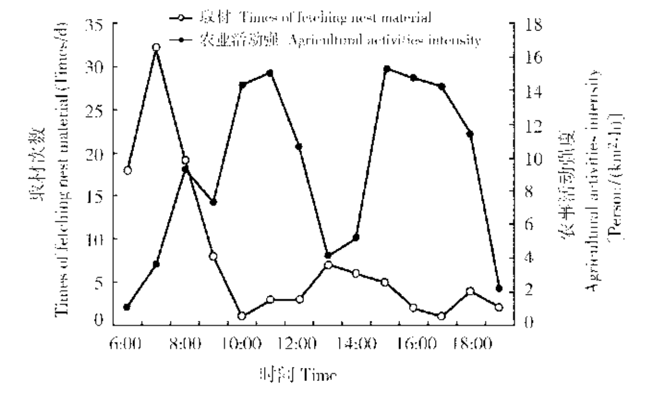



图 3 东方白鹳取材活动与繁殖区日平均农业活动强度的关系
Fig. 3 The effect of mean daily agricultural activities on nest material seeking in the breeding area

和 18：00 出现 3 个明显的峰值。分析表明，东方白鹳繁殖期取材活动与巢区日平均农业活动强度之间呈明显负相关关系（$r = -0.539$，$n = 14$，$p < 0.05$）（图 3）。

在巢亲鸟对向巢塔靠近的行人具有较高的警戒性，在行人距离巢塔 200 m 左右时，亲鸟则表现警戒行为，即警示来人，双翅微开，发出低沉有力、富有节奏的击喙声，若干扰继续接近至逃逸距离，亲鸟会从巢中突然跃冲飞向空中，在巢上空盘旋飞翔，警示来人。但在繁殖的不同阶段，亲鸟对人为干扰的敏感性有极显著差异（表 3）。Post Hoc 多重比较检验表明，GH 繁殖期Ⅰ阶段的警戒距离与Ⅱ阶段的有显著差异，Ⅱ阶段的警戒距离与Ⅲ阶段、Ⅳ阶段的也有显著差异；繁殖期Ⅰ阶段的逃逸距离与Ⅱ阶段、Ⅲ阶段的有显著差异，Ⅱ阶段的逃逸距离与Ⅲ阶段、Ⅳ阶段的有显著差异，Ⅲ阶段的逃逸距离与Ⅳ阶段的也有显著差异。即 GH 繁殖对在营巢期和孵卵期对到达塔下的行人，有轻度的警戒性，或不反应；在雏鸟孵出至 15 日龄这段时期，GH 对巢下行人具有强烈的警惕性，警戒距离为（87.62 ± 37.37）m，当行人接近巢塔 50 m 左右时，亲鸟逃逸；当雏鸟逐渐丰羽后，GH 对接近巢塔农人的警戒性就逐渐下降，至幼鹳形体发育接近成鸟时，亲鸟对人的警戒性就会进一步降低，即便农民在塔下耕作也不逃逸。总之，GH 繁殖对在雏鸟孵化后的 1 月龄这段时期，亲鸟对巢塔周围的人为干扰活动较为敏感。

Post Hoc 多重比较检验表明，EF 繁殖期Ⅰ阶段的警戒距离与Ⅱ阶段、Ⅳ阶段的有显著差异，Ⅱ阶段的警戒距离与Ⅲ阶段的差异显著，Ⅲ阶段的与Ⅳ阶段的警戒距离也有显著差异；EF 繁殖期Ⅰ阶段的逃逸距离与Ⅱ阶段、Ⅳ阶段的有显著差异，Ⅱ阶段的逃逸距离与Ⅲ阶段的有显著差异，Ⅲ阶段的逃逸距离也与Ⅳ阶段的有显著差异。EF 在营巢期、产卵至孵化中期以及雏鸟孵化后的 1 月龄这段时期，对巢区人为干扰活动都极为敏感，在孵化和育雏初期有时还会对靠近巢塔的农民进行驱赶；进入孵化后期尽管不产生逃逸行为，但在行人从巢塔下经过时，坐巢的亲鸟则发出低沉有力的击喙声警示来人；育雏后期，EF 对经过巢塔下的行人敏感性较低，几乎没有反应。

## 4 讨　论

### 4.1 自然力对东方白鹳繁殖影响

高温和强风是影响东方白鹳繁殖的重要自然因子。在繁殖过程中，尽管亲鸟和雏鹳都采取了一系列行为适应对策，但是 55℃以上的强日光辐射对非丰羽雏鹳仍然是重要胁迫因素。筑巢初期，强风对巢所造成的破坏导致取材、修巢行为的增加，进而会影响东方白鹳繁殖期时间和能量的分配。鸟类行为的时间分配，既是鸟类对当地环境条件的适应，也是影响动物行为活动的综合表现（Yang et al，1995）。每一个种群都有最适于当地条件的时间分配，有最适时间分配的个体在自然选择中有利（Verbeek，1972）。强风对巢的破坏使东方白鹳花费更多的时间和能量于窝巢的维护，势必导致孵卵坐巢、能量补充、自身维护、雏鹳育抚等繁殖行为时间分配的减小，从而引起东方白鹳留居繁殖种群的繁殖活动偏离当地条件的最适时间分配，进而影响繁殖成功率。

**表 3　东方白鹳在巢上活动时对人为干扰的反应距离**

**Tab. 3　Response distances of *Ciconia boyciana* responding to human disturbance in nests**

| 反应行为 Responding behaviour | 在繁殖不同阶段对干扰的反应距离（m） Response distances to disturbance at different breeding stages | | | | $F$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ（$n_1 = 19/n_2 = 10$） | Ⅱ（$n_1 = 21/n_2 = 10$） | Ⅲ（$n_1 = 20/n_2 = 15$） | Ⅳ（$n_1 = 25/n_2 = 20$） | |
| GH 警戒 Alertness | 0 | 87.6 ± 37.4 | 70 ± 43.4 | 0 | 58.870** |
| GH 逃逸 Flight | 0 | 50.7 ± 12.8 | 0 | 0 | 341.821** |
| EF 警戒 Alertness | 141 ± 21.8 | 0 | 154 ± 74.5 | 0 | 65.401** |
| EF 逃逸 Flight | 102.5 ± 22.3 | 0 | 114.7 ± 45.1 | 0 | 88.555** |

Ⅰ阶段：GH 为 3—4 月份（营巢孵卵期），EF 为 3—4 月上旬（营巢至孵卵中期）；Ⅱ阶段：GH 为 5 月上旬（育雏初期），EF 为 4 月中下旬（孵卵后期）；Ⅲ阶段：GH 为 5 月中下旬（育雏中期），EF 为 5—6 月上旬（育雏初期至中期）；Ⅳ阶段：GH 为 6—7 月（育雏后期至离巢），EF 为 6 月中下旬以后（育雏后期至离巢）。$n_1$、$n_2$ 分别表示 GH 和 EF 的样本量。** $P < 0.01$（ANOVA）。

Stage Ⅰ is the time from March to April for GH (nesting and hatching period), March to early April for EF (from nesting to middle period of hatching). Stage Ⅱ is the time in early May for GH (early period of fostering nestling), in middle and late April for EF (late period of hatching). Stage Ⅲ is the time in middle and late May for EF (Middle period of fostering nestling), in May and early June for EF (early and middle period of fostering nestling). Stage Ⅳ is the time from June to July for GH (from late period of fostering nestling to leaving nest), after middle and late June for EF (from late period of fostering nestling to leaving nest). $N_1$ and $n_2$ stand for sample sizes of GH and EF respectively. ANOVAs were used to test the hypothesis that several means were equal. ** Difference is significant at the 0.01 level ($P < 0.01$).

### 4.2 高压电对东方白鹳繁殖的影响

人为干涉和电击是影响东方白鹳留居繁殖进程的重要因素。电击和人为对窝巢的拆除是导致东方白鹳 2004 年 4 次繁殖失败事件的直接原因；2005 年 3 月 4 日，电工给 1 463 塔巢加固，又导致了 GH 繁殖对第一次繁殖的失败。人为干涉和电击对东方白鹳窝巢的干扰和破坏导致了 2004 年东方白鹳营巢期由 2 月延至 5 月，直至 9 月中下旬繁殖才结束；2005 年 GH 营巢期也由 2 月份推延至 3 月份（表 1）。繁殖期的推延对于幼鹳的生长和亲鸟的体能恢复都极为不利。因此，对高压输线塔进行科学管理以给东方白鹳留居繁殖提供适宜的巢位和避免人类对窝巢的干涉与侵扰，是东方白鹳成功繁殖的重要基础。

为了保证供电安全，2004 年 4 月下旬，电工在线塔下侧的两塔角处，安装了鸟刺，迫使东方白鹳只能在线塔中央营巢。2004 年 4 月下旬在 1 461 塔中央营巢的东方白鹳繁殖成功，2005 年分别在 1 458 塔、1 465 塔中央营巢的东方白鹳全部繁殖成功。鸟刺的安装提高了供电的安全系数（减少了巢材掉落在高压线和排便于绝缘子上的机会），也迫使东方白鹳在一个相对牢固的地点营巢，但鸟刺对东方白鹳的繁殖活动也产生不利的影响。

高压电对东方白鹳的生命安全仍存有潜在威胁。高频电磁场对生物体产生危害，如引起中枢神经和植物神经机能障碍等（Luo et al，2005）；用低强度瞬态电磁场处理动物细胞的实验表明，低强度瞬态电磁场作用能引起电穿孔（Peng et al，2000）；对家猪的精子细胞进行电穿孔处理的研究也表明，低强度瞬态电磁场能够使精子细胞穿孔，并能促使外源物质进入细胞内部（Peng et al，2003）；一项针对电离辐射对职业照射生物效应影响的调查显示，长期低剂量电离辐射作用于人体，可产生植物神经功能紊乱和内部器官机能的失调等多种生物学效应（Yu et al，2003）；同时，长期在低于容许剂量的电离辐射环境中，外周血淋巴细胞微核率也可敏感地反映出辐射与生物学效应的关系（Cai et al，2003）。因此，长期在 20 万伏特的高压电磁场及其产生的强离子辐射环境中生存的东方白鹳亲鸟和幼鸟的健康状况令人担忧。因此，高压线塔不是东方白鹳留居繁殖的理想巢址。为了保护和扩大长江中下游流域这一留居繁殖种群的数量，给其提供一个安全、适宜的营巢生境尤为必要。建议在具体的保护工作中，分两步进行：（1）短期内提供人工巢址，且鉴于当地没有适宜东方白鹳营巢的高大树木（Lu et al，2004），可在营巢生境内竖立与高压线塔类似的人工巢址（Li，1995；Zhang et al，2000；Zhu et al，2000），并建设巢区防护林，给东方白鹳提供一个安全的营巢环境；（2）逐步扩大人工树林的面积，并保护树林不被人为破坏，待树木成长到一定的程度，则给东方白鹳的留居繁殖提供更加适宜、自然的营巢环境。

### 4.3 人为活动对东方白鹳繁殖影响

噪音对东方白鹳繁殖有一定影响，但东方白鹳对噪音有了一定的适应能力。东方白鹳对鞭炮和汽笛声等噪音，在清晨的一段时间内表现敏感性，随后表现出适应；GH 繁殖对初到 1 458 塔营巢时，对飞机航班噪音也很警惕，后来逐渐适应，说明东方白鹳对噪音已有了一定的适应能力，这与 Chen et al（2000）对一些水鸟的研究结果一致。由于村镇和公路距离巢区较近，为了减少噪音的影响，建议有关部门在附近公路树立提示牌，提醒驾驶员在巢区附近，减少鸣笛，教育广大村民减少鞭炮的燃放，以给东方白鹳留居繁殖提供一个安静的繁殖环境。

秸秆焚烧对东方白鹳留居繁殖有影响，并导致飞翔策略的改变。秸秆焚烧产生的大火和浓烟，增加了巢区环境的温度，降低了空气的能见度，改变了巢区的微气候，也对东方白鹳的繁殖行为产生了影响，导致产生警戒行为，尽管东方白鹳很快适应了秸秆焚烧活动。但秸秆焚烧在巢区上空形成的浓重烟雾给东方白鹳的飞行带来了较大干扰，即改变了东方白鹳在觅食地和巢塔之间迁移飞翔的方式。因此，建议有关部门采取措施，帮助当地群众改变对油菜秸秆传统的焚烧处理方式，可以考虑把油菜秸秆粉碎沤肥生产沼气，既能给农民带来经济利益，又避免了在巢区周围集中燃烧对东方白鹳繁殖的影响。

东方白鹳对农事活动产生一定的适应性。4 月份以后逐渐增强的农业活动，严重干扰了东方白鹳的取材、觅食等行为，其中，觅食的人为干扰频率和逃逸频率分别高达 71.29% 和 49.76%。东方白鹳留居种群克服繁殖区高强度的人为干扰的方式主要有：（1）取材活动集中在巢区周围人为干扰强度稍低的清晨、中午和傍晚进行，以避开农业活动强度较高的时段（图 3）；（2）通过缩短对人为干扰的反应距离，提高耐受性，来争取更长的觅食时间。东方白鹳留居繁殖种群的主要觅食地是巢区附近的休耕水田和洪湖渔场，都是人类活动频繁的人

工湿地，由于当地人口密度较大，且东方白鹳繁殖的 3—7 月份又是当地农业活动的高峰期，因此，造成东方白鹳觅食活动的干扰频率较高。然而，亲鸟为了平衡自身能量的消耗和给雏鹳提供充足的食物，每天必须要保证一定的觅食时间。因此，当亲鸟在地面觅食遭受干扰时，必须在尽可能长的觅食时间与不断增强的风险之间做出选择。为了保证足量的食物供给，东方白鹳留居繁殖种群通过不断提高自身的干扰耐受性，即缩短干扰反应距离来赢得更长的觅食时间，以获取亲鸟自身维护和雏鸟发育所需的能量和营养需求。因此，较强的干扰耐受性是更适应环境的表现（Keller，1989）。东方白鹳留居繁殖种群通过缩短反应距离，以应对农业干扰强度不断增大的繁殖环境，来争取更长觅食时间的行为，是其能够在越冬区留居繁殖成功的根本原因。

许多学者认为，鸟类的反应距离可以作为野生鸟类受到人为干扰程度的判断依据（Kenney & Knight，1992；Mori et al，2001；Roberts & Evans，1993）。因而，东方白鹳对人类干扰的警戒和逃逸距离也可以作为其繁殖生境内人类干扰强度的判断指标，为保护工作的开展提供依据。

在繁殖期不同阶段，巢塔上的东方白鹳亲鸟对巢塔下人为干扰的反应距离有极显著差异。GH 和 EF 繁殖对在雏鸟孵化后至 1 月龄这段时期，对人为干扰较为敏感。随着雏鹳的逐渐发育，GH 对人为干扰的敏感性逐渐降低，在育雏末期 GH 对经过塔下的行人已无明显反应；而 EF 在营巢期、产卵至孵化中期以及雏鸟孵化后的 1 月龄这段时期，对巢区人为干扰活动都极为敏感，在孵化和育雏初期甚至有时还会对靠近巢塔的行人进行驱赶；但在孵化后期至雏鸟破壳这段时期，尽管不产生明显的警戒、逃逸行为，但当人从巢塔下经过时，坐巢的亲鸟则以低沉有力的击喙声警示来人。繁殖期的不同阶段，亲鸟在巢塔上活动时，对塔周围人为干扰的耐受性变化可能与孵化期、育雏期亲鸟体内较高的激素水平调节有关（Li et al，2000）。设置“缓冲区”（buffer zones）保护鸟类避开不适当的人类干扰是进行水鸟管理的一项很重要的举措（Fox & Madsen，1997；Rodgers & Schwikert，2002；Rodgers & Smith，1997；Traut & Hostetler，2003）。东方白鹳在孵化期和育雏期，对人为干扰较为敏感，这个时期也是繁殖活动最为关键的阶段，同时也是当地农业活动强度逐渐增大的时间。为了给东方白鹳留居繁殖创造一个安全、安静的营巢环境，可根据东方白鹳的警戒距离，在巢区的周围，警戒距离以内，设置暂时禁耕区，并加大对当地群众宣传教育的力度，在禁耕区内减少或禁止人为活动。

东方白鹳繁殖地的食物资源也面临着匮乏的危险，当地农民经常在沟渠中下笼捕鱼，有的还用电瓶电击捕捉鱼虾、黄鳝等水生生物。当地大规模养鸭情况很普遍，鸭子取食活动对当地的生态系统破坏严重，导致了当地的鱼虾等水生动物资源匮乏，给东方白鹳的取食造成了很大影响。减少巢区鸭群的放养量，是提高巢区食物丰富度的关键。此外，秋冬季节，在东方白鹳取食生境内，甚至还有毒杀水鸟的现象（Barter et al，2004；Gu，2005），因此，加大对当地群众进行科普宣传和环保教育的力度，对于保护东方白鹳越冬种群安全越冬和留居种群的顺利繁殖，都具有十分重要的现实意义。

**致谢：**感谢何家庆在植物标本鉴定工作中给予的细心指导，张保卫博士对论文修改提出的中肯建议，以及安庆市林业局和安庆市供电公司在工作上给予的真诚帮助。

## 参考文献：

Altmann J. 1974. Observation study of the behavior sampling method [J]. *Behaviour*, **49**: 227-265.

Barter M, Chen L, Cao L, Lei G. 2004. Waterbird Survey of the Middle and Lower Yangtze River Flood Plain in Late January and Early February 2004 [M]. Beijing: China Forestry Publishing House.

Cai QL, Chen H, Liu Y. 2003. Professional workers' cellular microkernel measure who had been in the situation of under tolerance ionization radiation for a long time [J]. *Prof Health*, **19**(12): 29. [蔡巧兰，陈 红，刘 勇. 2003. 长期低于容许剂量电离辐射作业人员的淋巴细胞微核测定. 职业与健康，**19**(12): 29.]

Cai SM, Zhou XY. 1996. The impact of human activities on the wetland ecological system in the middle reaches of the changjiang river [J]. *Sci Geograph Sin*, **16**(2): 129-136. [蔡述明，周新宇. 1996. 人类活动对长江中游湿地生态系统的冲击. 地理科学，**16**(2): 129-136.]

Chen SH, Ding P, Zheng GM, Zhu GY. 2000. Impacts of urbanization on the wetland waterbird communities in Hangzhou [J]. *Zool Res*, **21**(4): 279-285. [陈水华，丁 平，郑光美，诸葛阳. 2000. 城市化对杭州市湿地水鸟群落的影响研究. 动物学研究，**21**(4): 279-285.]

Collar NJ, Andereev AV, Chan S, Crosby MJ, Subranmannya S, Tobias JA. 2001. Threatened birds of Asia [A]. In: Cambridge. The Bird Life International Red Data Book [C]. UK: Bird Life International, 194-222.

Cooke AS. 1980. Observations on how close certain passerine species will tolerate an approaching human in rural and suburban areas [J]. *Environ Conserv*, **18**: 158-165.

Delany S, Scott D. 2002. Waterbird Population Estimates, 3rd ed [M]. Netherlands: Wageningen: Wetlands International Global, 57.

Fox AD, Madsen J. 1997. Behavioural and distributional effects of hunting disturbance on waterbirds in Europe: Implications for refuge design [J]. *J Appl Ecol*, **34**: 1-13.

Gu CM. 2005. Appendix 1: Technical reports on six serveyed provinces and municipility of 2005 waterbird survey in the middle and lower Yantze River Floodplain (Chinese)[A]. In: Barter M, Lei G, Cao L. Waterbird Survey of the Middle and Lower Yangtze River Floodplain in February 2005 [C]. Beijing: China Forestry Publishing House, 22-26.

Keller V. 1989. Variations in the response of great crested grebes podiceps cristatus to human disturbance-a sign of adaptation? [J]. *Biol Conserv*, **49**: 31-45.

Kenney SP, Knight RL. 1992. Flight distances of black-billed magpie in different regimes of human density and persecution [J]. *Condor*, **94**: 545-547.

Li CW, Jiang ZG, Fang JM, Jian GH, Ding YH, Shen H, Xu AH. 2000. Relationship between reproductive behavior and fecal steroid inmilu [J]. *Acta Theriol*, **20**(2): 88-100. [李春旺，蒋志刚，房继明，姜国华，丁玉华，沈 华，徐安红. 2000. 麋鹿繁殖行为和粪样激素水平变化的关系. 兽类学报, **20**(2): 88-100.]

Li XM. 1995. Artificial attraction and population resumption of oriental white stork in Honghe Nature Reserve, China [J]. *Chn Wildl*, (6): 15-18. [李晓民. 1995. 洪河自然保护区东方白鹳人工招引及种群恢复研究. 野生动物, (6): 15-18.]

Liu J, Sai DJ, Hu K. 2001. The time budgets and activities of oriental white stork (*Ciconia boyciana*) in captivity in spring [J]. *Acta Zool Sin*, **43**: 144-147. [刘 建，赛道建，胡 堃. 2001. 笼养东方白鹳春季行为和时间分配的研究. 动物学报, **43**: 144-147.]

Lu XD, Wang CG, Wang JQ, Tian JL, Shao WG, Xiao AZ, Ai HY. 2004. Reproductive habitation selection of oriental white stork and reproductive behavior observing [J]. *Forest By-Prod Special Chn*, **2**: 35-36. [卢向东，王朝贵，王建强，田家龙，邵伟庚，肖爱忠，艾洪彦. 2004. 东方白鹳繁殖期生境选择与行为观察. 中国林副特产, **2**: 35-36.]

Luo P, Li JW, Li SY. 2005. Badly effect on nerve system was caused when working in high voltage electromagnetic environment [J]. *Occup Health*, **21**(3): 355-356. [骆 平，李建伟，李胜洋. 2005. 高压电磁场环境作业对神经系统的不良影响. 职业与健康, **21**(3): 355-356.]

Mori YS, Sodhi S, Kawanishi S, Yamagishi S. 2001. The effect of human disturbance and flock composition on the flight distances of waterfowl species [J]. *J Ethol*, **19**: 115-119.

Peng Y, Wang ZS, Wang XH, Chen WY, Wu ZY, Guo SQ, Wang BY, Zhang H, Liu CJ, Lv XB, Zeng K. 2000. The ectroporation of weak transient electromagnetic field on animal cell membrane [J]. *J Sichuan Univ* (Natural Science Edition), **37**(4): 586-589. [彭 勇，王子淑，王小行，陈文元，吴致远，郭尚勤，王保义，张 弘，刘长军，吕学斌，曾 凯. 2000. 低强度瞬态电磁场下动物细胞的电穿孔效应. 四川大学学报(自然科学版), **37**(4): 586-589.]

Peng Y, Wang ZS, Wu ZY, Guo SQ. 2003. Study of the effects of electroporation of domestic pig sperm cell induced by weak electric magnetic pulse field [J]. *J Shenzhen Univ* (Science & Engineering), **20**: 36-39. [彭 勇，王子淑，吴志远，郭尚勤. 2003. 低强度瞬态电磁场下家猪精子的电穿孔效应. 深圳大学学报(理工版), **20**: 36-39.]

Riffell SK, Gutzwiller KJ, Anderson SH. 1996. Does repeated human intrusion cause cumulative declines in avian richness and abundance [J]. *Ecol Appl*, **6**: 492-505.

Roberts G, Evans PR. 1993. Responses of foraging sanderlings to human approaches [J]. *Behaviour*, **126**: 29-43.

Rodgers JA, Schwikert ST. 2002. Buffer-zone distances to protect foraging and loafing waterbirds from disturbance by personal watercraft and outboard-powered boats [J]. *Conserv Biol*, **16**: 216-224.

Rodgers JA, Smith HT. 1997. Buffer zone distances to protect foraging and loafing waterbirds from human disturbance in Florida [J]. *Wild Soc Bull*, 139—145.

Traut AH, Hostetler ME. 2003. Urban lakes and waterbirds: Effects of development on avian behavior [J]. *Waterbirds*, **26**: 290-302.

Verbeek NAM. 1972. Daily and annual time budget of the yellow-billed magpie [J]. *Auk*, **89**: 576-582.

Wang QS, Shi KC, Zhu WZ. 2002. Nesting and breeding of oriental white stork (*Ciconia boyciana*) was reobserved in Anqing City [J]. *Chn Crane News*, **6**(1): 30-31. [王岐山，施葵初，朱文中. 2002. 东方白鹳在安庆营巢繁殖再考察. 中国鹤类通讯, **6**(1): 30-31.]

Wang HT, Yu GH, Yang BB, Lei FM, Wang T, Gao W. 2005. Behavioral responses of Siberian Cranes to human disturbance at Stopover Sites [A]. In: Wang QS, Li FS. Crane Research in China [C]. Kunming: Yunnan Education Publishing House, 118-123. [王海涛，于国海，杨兵兵，雷富民，王 拓，高 玮. 2005. 白鹤在停歇地对人为干扰的行为反应. 见: 王岐山，李凤山. 中国鹤类研究. 昆明: 云南教育出版社, 118-123.]

Wang QS, Yang ZF. 1995. Current studies on oriental white stork [J]. *J Anhui Univ* (Natural Science Edition), **19**(1): 82-99. [王岐山，杨兆芬. 1995. 东方白鹳研究现状. 安徽大学报(自然科学版), **19**(1): 82-99.]

Wang YP, Chen SH, Ding P. 2004. Flush distance: Bird tolerance to human intrusion in Hangzhou [J]. *Zool Res*, **25**(3): 214-220. [王彦平，陈水华，丁 平. 2004. 惊飞距离: 杭州常见鸟类对人为侵扰的适应性. 动物学研究, **25**(3): 214-220.]

Yang XJ, Wen XJ, Yang L. 1995. Time budgets of captive lady amherstst's pheasant in breeding season [J]. *Zool Res*, **16**(2): 178-184. [杨晓君，文贤继，杨 岚. 1995. 笼养白腹锦鸡繁殖期的时间分配. 动物学研究, **16**(2): 178-184.]

Yu YH, Gao Z, Zhang FQ. 2003. Biological domino effect research of ionization radiation to professional irradiation [J]. *Chn J Radio Health*, **12**(3): 185-186. [于永红，高忠贤，张方清. 2003. 电离辐射对职业照射生物效应影响的调查研究. 中国辐射卫生, **12**(3): 185-186.]

Zhu WZ. 2001. Nesting and breeding of oriental white stork (*Ciconia boyciana*) was discovered in Anqing City, Anhui Province [J]. *Chn Crane News*, **5**(2): 30-31. [朱文中. 2001. 安徽安庆发现东方白鹳营巢繁殖. 中国鹤类通讯, **5**(2): 30-31.]

Zhang YH, Ding YL, Zheng LS, Jiang YQ, Feng DG, Kong XF, Wen GY, Yao XP, Qin XY. 2000. Artificial attraction and population resumption of oriental white stork (*Ciconia boyciana*) in Heilongjiang Province, China [J]. *Territ Nat Resou Study*, **1**: 70-71. [张艳辉，丁永良，郑立升，姜永奇，冯德刚，孔祥锋，温光砚，姚小平，秦秀云. 2000. 黑龙江省东方白鹳人工招引及种群恢复对策研究. 国土与自然资源研究, **1**: 70-71.]

Zhu BG, Li JH, Wang XF, Chang YH. 2000. Artificial attraction methods of oriental white stork (*Ciconia boyciana*) and application in the conservation [J]. *Chn Wildl*, (4): 43. [朱宝光，李景华，王晓峰，常云红. 2000. 东方白鹳人工招引方法及在保护中的作用. 野生动物, (4): 43.]